

基于WOS数据库的虚拟现实教育游戏研究综述 ——HistCite可视化分析

赵 阳, 袁加照, 范占敏

宁夏大学教师教育学院, 宁夏 银川

收稿日期: 2025年10月12日; 录用日期: 2025年11月8日; 发布日期: 2025年11月19日

摘 要

文章利用HistCite引文可视化软件, 以Web of Science核心合集数据库中虚拟现实教育游戏相关文献为研究样本, 对1999年至今的虚拟现实教育游戏研究文献进行多维度的分析, 描述了国外虚拟现实教育游戏文献发表时间分布、重要期刊及引文关系, 并根据分析结果提出了思考与启示。

关键词

虚拟现实, 教育游戏, 可视化分析, HistCite

A Review of Virtual Reality Educational Games Based on WOS Database —HistCite Visualization Analysis

Yang Zhao, Jiazhao Yuan, Zhanmin Fan

School of Teacher Education, Ningxia University, Yinchuan Ningxia

Received: October 12, 2025; accepted: November 8, 2025; published: November 19, 2025

Abstract

This paper uses HistCite citation visualization software and takes the literature related to virtual reality educational games in the Web of Science core collection database as the research sample to conduct a multi-dimensional analysis of the research literature on virtual reality educational games from 1999 to the present. It describes the temporal distribution of foreign literature on virtual reality educational games, important journals and citation relationships, and presents thoughts and insights based on the analysis results.

Keywords

Virtual Reality, Educational Games, Visual Analytics, HistCite

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

教育游戏作为新兴教育变革力量的潜力已经被广泛认可,自 2011 年起新媒体联盟(NMC)《地平线报告》几乎每年都将游戏与游戏化学习列为未来教育应用的新技术。与传统的教学形式相比,教育游戏以教育教学理论为支撑,以游戏化的参与形式为手段,为学习者构建情境化的学习环境,学习者在参与游戏情境和完成任务的过程中实现知识建构和能力发展[1]。虚拟现实教育游戏作为教育游戏的一种,以虚拟现实技术为支撑,通过模拟学习情境构建虚拟学习环境,基于学习内容设计游戏情节,学习者通过扮演游戏中的角色与游戏人物等进行互动交流,在完成游戏任务的过程中实现体验式学习[2]。相对于 2D 的计算机游戏,基于虚拟现实技术构建的 3D 游戏更有助于学习者对复杂内容和过程的理解[3]。近年来,随着虚拟现实技术的快速发展,简单易用、成本低廉、交互式、便携式、沉浸式虚拟现实设备开始普及,基于虚拟现实技术的教育游戏成为游戏设计开发者和教师关注的重点。

当前国内虚拟现实教育游戏研究已形成初步规模,但仍存在显著缺口,需通过国际视野补充完善。研究焦点局限,国内研究多集中于本土化应用案例与基础设计框架,且缺乏与国际前沿理论的融合;国内研究效果测评单一,现有实践验证多采用短期课堂实验,聚焦学习动机与即时成绩变化,长期知识保留和跨场景技能迁移等关键维度;且国内研究方法匮乏,以定性描述、小样本实证为主,量化与可视化分析不足,难以全面把握国际趋势。为更全面、及时地了解近年来国外关于虚拟现实教育游戏的研究成果与未来趋势,为我国虚拟现实教育游戏的相关研究提供参考,本研究以虚拟现实教育游戏为主题收集了自 1999 年以来的相关英文文献,在进行文献基本数量统计的基础上,运用 HistCite 对收集的 WOS 的英文文献数据进行可视化分析,综述文献以探究国外虚拟现实教育游戏的研究热点和趋势,为我国的虚拟现实教育游戏研究理论融合提供路径、丰富研究方法和明确热点方向。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 数据来源

研究以 Web of Science 核心合集为数据库,检索设置: TS = (“virtual reality”) AND TS = (“educational game” OR “learning in game” OR “gaming for education” OR “game based learning” OR “educational use of game”),选择年限 1999~2024 年;研究领域: “Science Technology”、“Social Sciences”;文献类型: “Article”。共检索出 1197 篇文献作为研究样本。

2.2. 研究工具与方法

本研究采用 HistCite 引文可视化软件进行分析。HistCite 是加菲尔德于 2001 年推出的一套引文编年可视化程序,即通过对文献搜索结果进行分析和组构,了解各个学科发展的峰谷趋势,研究文章之间的引用关系及生成文章之间的引用关系图表,分析出该领域的发展脉络,确定引用最多的文章分布规律。

文中涉及的 HistCite 参数包括: LCS (Local Citation Score)是文献在当前数据集中被引用的次数,根

据 LCS 的排序,可以快速定位该领域的重要文献;GCS (Global Citation Score)是 Web of science 数据库中的引用频次;LCR (Local Cited References)是参考文献在当前数据集中的数量,根据 LCR 的排序,可以快速定位近期关注该领域的重要文献,发现最新动向;CR (Cited References)是参考文献数,根据参考文献数的排序,可以快速定位该领域的综述文献;TLCS (Total Local Citation Score)是对期刊、作者、关键词等在当前分析文献集中的引用总频数;TGCS (Total Global Citation Score)是对期刊、作者、关键词等在 Web of science 数据库中的引用总频次。

2.3. 研究过程

本研究首先进行文献检索,将检索出的 1197 篇文献作为研究样本,采用 HistCite 软件对研究样本进行文本和视图的可视化分析。最后根据聚类分析结果,针对性地阅读部分典型文献,了解国外虚拟现实教育游戏的研究热点与发展趋势。

3. 分析与结果

3.1. 时间分析

由于数据收集时间为 2025 年中期,所以 2025 年的数据不纳入参考。仅对 1999~2024 年的年产量进行分析。在 HistCite 中按年发文量(Yearly out put)统计“虚拟现实教育游戏”为主题的文献的年度时间分布情况,每年发表论文数如图 1。

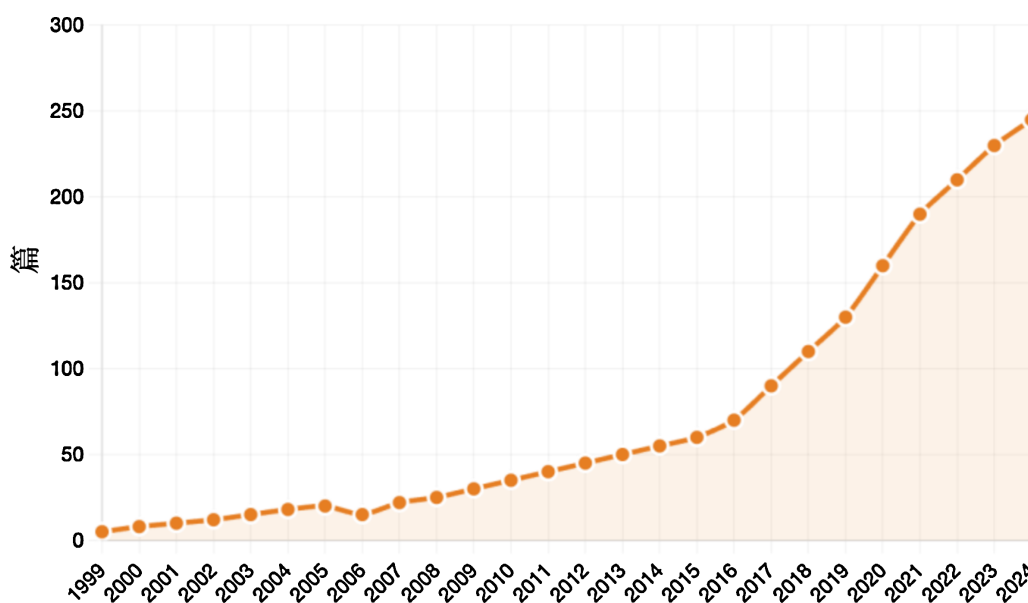


Figure 1. Annual distribution of research literature on virtual reality educational games

图 1. 虚拟现实教育游戏研究文献发表年度分布

如图 1 可以看出虚拟现实教育游戏整体呈上升趋势,值得注意的是 2011~2016 和 2016~2024 年这两个区间都呈上升趋势说明该领域受到越来越多的关注。同时,后者相较前者有了大幅度的上升。经过文献的阅读我们了解到自 2011 年起新媒体联盟(NMC)《地平线报告》几乎每年都将游戏与游戏化学习列为未来教育应用的新技术,这使教育游戏受到人们的关注成为研究热点虚拟现实教育游戏的研究还处在初期。而 2016 年后虚拟现实教育游戏的发文量直线上升,这与当时虚拟现实技术的产业化突破直接相关,消费级 VR 头盔实现规模化生产,设备价格降至教育机构可接受范围,且 3D 建模、实时交互等核心技术

成熟度提升，为教育游戏的沉浸式设计提供了稳定技术支撑，最终带动学界对该领域的研究热度与文献产出大幅上升。

3.2. 期刊分析

近十年共有 495 个期刊发表过以“虚拟现实教育游戏”为主题的文献，发文量前五位的学术期刊如图 2 所示，合计发文 192 篇，占总发文量的 15.9%。其中，《计算机与教育》(COMPUTERS & EDUCATION) 载文量最高，有 54 篇。同时，该期刊的 TLCS 和 TGCS 也是最高的。数值分别为 254 和 5907，与二至五名拉开了巨大的差距。说明在虚拟现实教育游戏研究领域，《计算机与教育》不仅发文量较大，而且受认可度最高，被引用数和转载量也最多。

#	Journal	Recs	TLCS	TGCS
1	COMPUTERS & EDUCATION	54	254	5907
2	INTERACTIVE LEARNING ENVIRONMENTS	35	50	584
3	VIRTUAL REALITY	35	71	813
4	APPLIED SCIENCES-BASEL	34	0	253
5	JMIR SERIOUS GAMES	34	2	275

Figure 2. High-volume journals
图 2. 高载文量期刊

3.3. 引文关系时序分析

笔者借助 HistCite 的 Graph Maker 功能对文献以 LCS 进行排序，设置阈值为 30，即选取前 30 记录，根据时间的先后顺序生成引文时序图。通过引文编年图，可以观察到该领域主题发展的历史脉络。突出的每一个圆圈代表一篇文献，其中圆圈越大代表文献被引频次越高。根据圆圈之间的箭头来确定文献之间的引用关系，我们也能根据线的密集与否来分析虚拟现实教育游戏领域近年来的研究情况，如果线很密集，说明这几年该领域研究很活跃，文献之间相互引用很频繁，如图 3。可以发现有两组明显的文献关系链。第一组为 431、207、160，第二组为 555、78、65。

第一组是以文献 431、207 和 160 为中心所构成的关系链。431 是 Feng Zhenan (2018)在《计算机与教育》中发表的《Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review》。文章旨在了解虚拟现实教育游戏在建筑疏散培训和研究背景下的开发和实施，应用于各种室内紧急情况，如火灾和地震。建立了通过系统文献综述方法进行有效设计和实施的概念框架。该框架整合了关键方面，并提供了它们之间的联系，包括教学和行为影响、游戏环境发展以及结果和参与体验措施[4]。207 是 Chittaro 和 Buttussi (2015)在《关于可视化和计算机图形学的事务》中发表的《Assessing Knowledge Retention of an Immersive Serious Game vs. a Traditional Education Method in Aviation Safety》中，作者提出了一款基于 HMD 的沉浸式游戏，用于教育乘客有关航空安全的知识，让玩家体验严重的飞机紧急情况，以生存下来为目标。作者将所提出的方法与航空公司使用的传统航空安全教育方法(安全卡)进行了比较[5]。与大多数用于安全知识获取的虚拟现实研究不同，不仅关注在体验后立即评估学习，而且将注意力扩展到更长的时间跨度内的知识保留。这是一个基本要求，因为人们需要保留安全程序，以便在面临危险时应用它们。在实验条件之前，之后和一周后进行的知识测试表明，沉浸式严肃游戏优于安全卡。此外，研究中采用的主观和生理测量表明，沉浸式严肃游戏比安全卡更具吸引力和恐惧性。160 是 Merchant (2014)在《计算机与教育》中发表《Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning out comes in K12 and higher education: Ameta-analysis》。主要发现包括：游戏比模拟和虚拟世界

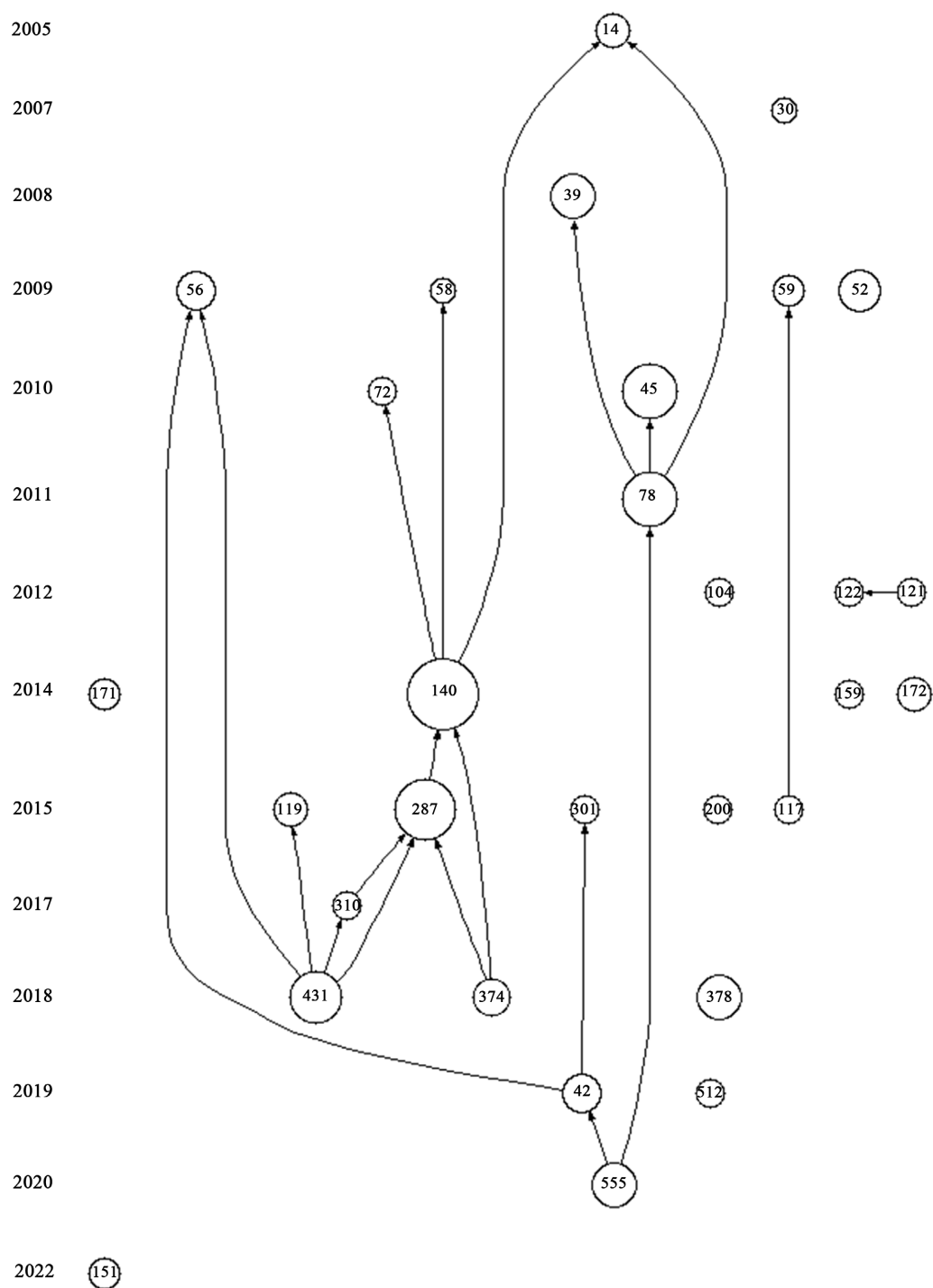


Figure 3. Chronological chart of references to research literature on virtual reality educational games
图 3. 虚拟现实教育游戏研究文献引文编年图

显示出更高的学习收益。对于模拟研究，详细的解释类型反馈更适合于陈述性任务，而正确响应的知识更适合于过程性任务。当学生单独进行游戏时，他们的表现会比在小组中进行时得到提高[6]。此外，还发现治疗次数与游戏学习收益之间存在反比关系。由此可以发现虚拟现实教育游戏在模拟真实生活中具有危险的场景来进行安全教育的应用受到研究者的重点关注。

第二组,是以文献 555、78 和 65 为中心所构成的关系链。555 是 David Checa 和 Andres Bustillo(2020)年发表在《多媒体工具与应用程序》上的《Are View Of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training》。该文章出于教育和培训目的,对虚拟现实教育游戏进行了单独的评论,仅关注一个知识领域。然而,这篇评论涵盖了 135 项关于沉浸式虚拟现实教育游戏的建议,这些游戏是虚拟现实和教育游戏的结合,并提供最终用户验证。首先,对文章的论坛、国籍和发表日期进行分析。然后,分析了应用领域、目标受众、游戏设计及其技术实现、性能评估过程和结果[7]。这里的目的是确定拟议解决方案的事实标准以及培训和学习应用程序之间的差异。最后,该研究为未来的研究方向奠定了基础,这些研究方向将在沉浸式虚拟现实环境中开发教育游戏,为改进这些工具及其成功应用以增强学习和培训任务提供了建议。78 是 Tassos A. Mikropoulos (2011)在《计算机与教育》中发表的综述文章《Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999~2009)》。研究是对虚拟现实(虚拟现实)教育应用的实证研究的十年批判性回顾。结果表明,尽管 53 篇评论文章中的大多数都涉及科学和数学,但社会科学研究人员似乎也欣赏虚拟现实的教育价值,并将他们的学习目标纳入教育虚拟环境(EVE) [8]。尽管虚拟现实支持多感官交互渠道,但视觉表示占主导地位。很少有研究包含直观的交互性,这表明了这个方向的研究趋势。很少有使用沉浸式 EVE 的环境报告对用户态度和学习成果的积极结果,这表明需要进一步研究此类系统的功能,根据教育背景和内容,利用有助于学习的虚拟现实功能。在场感似乎在学习中起着重要作用,这是一个需要进一步深入研究的主题。建构主义似乎是大多数 EVE 所基于的理论模型。这些研究呈现了现实世界的真实任务,使上下文和内容相关的知识构建成为可能。它们还通过表现世界的自然复杂性来提供现实的多重表示。研究结果表明,协作和社交谈判不仅限于 EVE 的参与者,而是存在于参与者和化身之间,为计算机辅助学习提供了新的维度。关于保留在 EVE 中获得的知识,目前还不能得出什么结论。纵向研究是必要的,我们相信这项研究的主要成果是它带来的未来研究前景。最后 65 是 Barney Dalgarno 和 Mark J. W. Lee (2010)在《英国教育技术杂志》的《What are the learning affordances of 3-D Virtual environments?》文章探讨了三维(3D)虚拟学习环境(VLES)的潜在学习优势在 20 年的研究成果的基础上,它确定了一套 3D VLES 的独特特性,包括它们的表象保真度和它们所促进的学习计算机交互活动的各个方面[9]。本文对三维 VLES 的应用进行了综述,指出了这类环境的一系列学习能力。这些能力包括促进有助于增强空间知识表现力的任务,增加体验学习的机会,增加学习动机/参与,改善学习的情境化,以及与二维替代方案所能实现的任务相比,更丰富/更有效的协作学习。文章认为,为了教育目的而继续发展和投资于 3D 游戏、模拟和虚拟世界,应考虑进一步研究 3D VLES 的独特特性与其潜在学习效益之间的精确关系。为此,文章最后提出了未来研究的议程或“路线图”,其中包括旨在探索这些关系的实证研究,以及旨在为设计、开发和使用三维学习环境提供信息的原则和准则。

3.4. 引用频次分析

文献被引频次反映了被其他研究者关注的程度;一般而言被引次数越多,说明此文献越重要,可被认为是核心文献。在 HistCite 界面,对 1197 篇文献按照 LCS 排序,得到 10 篇本地数据库引用量大于等于 15 篇的高被引文献,如图 4。

排名第一、四、五、六的文章都发表在《计算机与教育》上,其中前三篇文章在引文关系时序分析中都已介绍。排名第六是 Virvou 和 Katsionis (2008)年发表在《计算机与教育》上的《On the usability and likeability of virtual reality games for education: The case of VR-ENGAGE》本文对教育虚拟现实游戏的可用性和好感度的评估表明,虚拟现实环境中确实存在一定程度的可用性问题,它们主要影响虚拟现实游戏新手玩家。但是,它们不会阻止用户玩教育游戏,好感度与游戏虚拟现实环境的复杂程度成正比[10]。

#	Date / Author / Journal	LCS	GCS	LCR	CR
1	160 Merchant Z, Goetz ET, Cifuentes L, Keeney-Kennicutt W, Davis TJ Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis COMPUTERS & EDUCATION. 2014 JAN; 70: 29-40	50	656	3	109
2	207 Chittaro L, Buttussi F Assessing Knowledge Retention of an Immersive Serious Game vs. a Traditional Education Method in Aviation Safety IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS. 2015 APR; 21 (4): 529-538	36	168	2	59
3	65 Dalgarno B, Lee MJW What are the learning affordances of 3-D virtual environments? BRITISH JOURNAL OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY. 2010 JAN; 41 (1): 10-32	32	716	0	109
4	78 Mikropoulos TA, Natsis A Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009) COMPUTERS & EDUCATION. 2011 APR; 56 (3): 769-780	31	457	4	95
5	431 Feng ZA, Gonzalez VA, Amor R, Lovreglio R, Cabrera-Guerrero G Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review COMPUTERS & EDUCATION. 2018 DEC; 127: 252-266	28	158	5	68
6	39 Virvou M, Katsionis G In the usability and likeability of virtual reality games for education: The case of VR-ENGAGE COMPUTERS & EDUCATION. 2008 JAN; 50 (1): 154-178	21	168	0	30
7	378 Butt AL, Kardong-Edgren S, Ellertson A Using Game-Based Virtual Reality with Haptics for Skill Acquisition CLINICAL SIMULATION IN NURSING. 2018 MAR; 16: 25-32	20	96	1	36
8	555 Checa D, Bustillo A A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS. 2020 MAR; 79 (9-10): 5501-5527	20	159	3	164
9	52 Dunleavy M, Dede C, Mitchell R Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION AND TECHNOLOGY. 2009 FEB; 18 (1): 7-22	18	615	0	44
10	56 Smith S, Ericson E Using immersive game-based virtual reality to teach fire-safety skills to children VIRTUAL REALITY. 2009 JUN; 13 (2): 87-99	16	99	1	23

Figure 4. 10 highly cited references
图 4. 10 篇高被引文献

4. 总结与启示

利用 HistCite 软件，通过对 Web of Science 数据库中 1999~2024 年收录的以“虚拟现实教育游戏”为主题的 1197 篇文献绘制引文图谱，从文献计量学的角度分析了虚拟现实教育游戏领域的发展历程、被引文献较高的期刊以及作者，可以看出，已有研究分别从不同的角度，对虚拟现实教育游戏中学习动机和学习成绩、游戏特征和沉浸感、游戏的易用性和学习效果等之间的关系进行分析研究。虚拟技术是否能够促进学习受到游戏场景、学习内容以及操作差异等复杂因素的共同影响。

虚拟现实技术通过 3D 交互界面为学习者提供情境化的学习环境，并通过心理沉浸和物理沉浸创造虚拟现实世界[11]，为学习者提供有意义的问题解决的环境[12]，影响学习者的知识建构[13]。基于虚拟现实教育游戏的教学活动，学习者可以自主探索、自由交互，并能即时获取针对其学习行为与效果的评价反馈。Limniou 等认为，3D 全沉浸式的游戏化学习环境能够激发学习者的兴趣和动机。Sims 认为，带有角色扮演的虚拟现实教育游戏能够显著提高学习者的学习动机和学习记忆力[14]。Lee 建构了基于桌面虚拟现实的学习环境中学习效果的决定因素模型，他认为动机、认知、控制和主动学习与学习成绩呈正相关，游戏的可用性是基础[15]。Merchant 通过构建模型提高桌面虚拟现实环境的有效性以增强空间能力和科学成就，并探究了桌面虚拟现实环境中 3D 虚拟现实特征、空间取向、自我效能和沉浸之间的关系[16]。Cheng 等通过结构方程模型探究了虚拟现实环境影响用户情绪和忠诚度的机制[17]。Chen 通过结构方程模型探究了虚拟现实学习环境对学生认知与语言发展的影响，结果表明，易用性高的沉浸式学习环境对学生的语言认知有积极的影响[18]。

通过对研究样本进行总体回溯和分析，结合国内虚拟现实教育游戏研究现状，对该领域研究发展有如下思考：

1. 虚拟现实教育游戏需进行充分的教学设计来开发

教育游戏设计可以考虑虚拟现实或增强现实不同技术类型及其特点。选择基于桌面还是基于头戴式设备可考虑具体成本和条件，结合具体的操作方式来设置相应的游戏环节，具身认知、心流理论也为虚拟现实提供了更多可持续探究的发展方向。强调角色、位置或任务的增强现实游戏，为教育游戏的设计

提供了多样性选择,角色扮演、问题解决、地图探索等游戏类型,网络和硬件设配的发展也为自主学习、合作探究的学习方式提供了良好的条件。利用虚拟现实和增强现实技术设计教育游戏,主要是为学习者搭建虚拟学习环境或虚实结合的学习情境,如何构建有效的学习环境是设计之初需要考虑的。Schank 和 Kass [14]归纳出有效学习环境三要素:首先,为学习者呈现能够激发其动机的目标;第二,将学习者置于真实的学习环境;第三,给学习者设置需要分析信息、设计行动计划才能够完成的任务。结合前文提到的游戏案例及相关理论可以发现,目标激励、真实情境建构、及时有效的反馈是这类教育游戏设计需要考虑的重点。

2. 虚拟现实教育游戏需对学习效果进行测评

教育游戏的最终目标是提升学生的学习效果,学习效果的测量是检验学习目标达成度的重要途径,而不同的知识类型又有着不同的测量方式。学习内容包括陈述性知识、程序性知识,测试类型包括基于知识的、基于能力的、基于技能的。元分析发现,测试类型是基于知识时,学习内容为陈述性知识要比学习内容为程序性知识的学习效果好;测试类型是基于技能时,学习内容为程序性知识要比学习内容为陈述性知识的学习效果好。所以使用虚拟现实技术进行教学时,仍需要结合传统教学设计对知识的分类及对应的测量工具开发。

参考文献

- [1] Hwang, G., Sung, H., Hung, C., Huang, I. and Tsai, C. (2012) Development of a Personalized Educational Computer Game Based on Students' Learning Styles. *Educational Technology Research and Development*, **60**, 623-638. <https://doi.org/10.1007/s11423-012-9241-x>
- [2] Kim, H. and Ke, F. (2016) Effects of Game-Based Learning in an Open Sim-Supported Virtual Environment on Mathematical Performance. *Interactive Learning Environments*, **25**, 543-557. <https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1167744>
- [3] Roussou, M. (2004) *Learning by Doing and Learning through Play: An Exploration of Interactivity in Virtual Environments for Children*. ACM Press.
- [4] Feng, Z., González, V.A., Amor, R., Lovreglio, R. and Cabrera-Guerrero, G. (2018) Immersive Virtual Reality Serious Games for Evacuation Training and Research: A Systematic Literature Review. *Computers & Education*, **127**, 252-266. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.002>
- [5] Chittaro, L. and Buttussi, F. (2015) Assessing Knowledge Retention of an Immersive Serious Game vs. a Traditional Education Method in Aviation Safety. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **21**, 529-538. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2015.2391853>
- [6] Merchant, Z., Goetz, E.T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W. and Davis, T.J. (2014) Effectiveness of Virtual Reality-Based Instruction on Students' Learning Outcomes in K-12 and Higher Education: A Meta-Analysis. *Computers & Education*, **70**, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>
- [7] Checa, D. and Bustillo, A. (2019) A Review of Immersive Virtual Reality Serious Games to Enhance Learning and Training. *Multimedia Tools and Applications*, **79**, 5501-5527. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9>
- [8] Mikropoulos, T.A. and Natsis, A. (2011) Educational Virtual Environments: A Ten-Year Review of Empirical Research (1999-2009). *Computers & Education*, **56**, 769-780. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>
- [9] Dalgarno, B. and Lee, M.J.W. (2009) What Are the Learning Affordances of 3-D Virtual Environments? *British Journal of Educational Technology*, **41**, 10-32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
- [10] Virvou, M. and Katsionis, G. (2008) On the Usability and Likeability of Virtual Reality Games for Education: The Case of VR-Engage. *Computers & Education*, **50**, 154-178. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.04.004>
- [11] Sherman, W. and Craig, A. (2002) *Understanding Virtual Reality-Interface, Application, and Design*. Morgan Kaufmann.
- [12] Pan, Z., Cheok, A.D., Yang, H., Zhu, J. and Shi, J. (2006) Virtual Reality and Mixed Reality for Virtual Learning Environments. *Computers & Graphics*, **30**, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2005.10.004>
- [13] Burton, B.G. and Martin, B.N. (2010) Learning in 3D Virtual Environments: Collaboration and Knowledge Spirals. *Journal of Educational Computing Research*, **43**, 259-273. <https://doi.org/10.2190/ec.43.2.f>
- [14] Sims, E.M. (2007) Reusable, Lifelike Virtual Humans for Mentoring and Role-playing. *Computers & Education*, **49**, 75-92. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.06.006>

-
- [15] Ai-Lim Lee, E., Wong, K.W. and Fung, C.C. (2010) How Does Desktop Virtual Reality Enhance Learning Outcomes? A Structural Equation Modeling Approach. *Computers & Education*, **55**, 1424-1442. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.06.006>
- [16] Merchant, Z., Goetz, E.T., Keeney-Kennicutt, W., Kwok, O., Cifuentes, L. and Davis, T.J. (2012) The Learner Characteristics, Features of Desktop 3D Virtual Reality Environments, and College Chemistry Instruction: A Structural Equation Modeling Analysis. *Computers & Education*, **59**, 551-568. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.004>
- [17] Cheng, L., Chieng, M. and Chieng, W. (2014) Measuring Virtual Experience in a Three-Dimensional Virtual Reality Interactive Simulator Environment: A Structural Equation Modeling Approach. *Virtual Reality*, **18**, 173-188. <https://doi.org/10.1007/s10055-014-0244-2>
- [18] Schank, R.C. and Kass, A. (1996) A Goal-Based Scenario for High School Students. *Communications of the ACM*, **39**, 28-29. <https://doi.org/10.1145/227210.227216>